

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie - 345

Zvýšení kvality chromových povlaků nábojů jízdních kol

Wheel body chromium coating quality improvement

Student:

Bc. Tomáš Bárta

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2009

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Bárta**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Zvýšení kvality chromových povlaků nábojů jízdních kol**
Wheel Body Chromium Coating Quality Improvement

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnocení současného stavu povrchových úprav
2. Teoretický rozbor technologie elektrochemické povrchové ochrany náboje
3. Návrh optimální technologie elektrochemického povlakování včetně typů použitých lázní
4. Experimentální ověření navržené technologie, zhodnocení kvality povlaku
5. Ekonomické porovnání návrhu a zhodnocení navržené technologie, závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

BARTL, D. O., MUDROCH, O. *Technologie chemických a elektrochemických povrchových úprav. I. díl.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1956, 448 s.
PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I.* Skripta. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1997, 76 s.
HEILING, H. M. Das Korrosionsverhalten von dekorativen Kupfer-Nickel-Chrom-Schichten auf Stahl. *Metall*, 14, 1960, 549 s.
STRAUCH, A. *Galvanotechnisches Fachwissen.* Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1987, 511 s.
PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochran strojírenských výrobků.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1985, 288 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Kristofory, CSc.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Pavel Nejedlý**

Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BÁRTA, T.: Zvýšení kvality chromových povlaků nábojů jízdních kol. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 63 s. Diplomová práce, vedoucí: Kristofory, F.

Firma Shimano plánuje rozšíření provozu povrchových úprav o nové technologie určené k povlakování náboje jízdního kola. Teoretická část práce hodnotí současný stav provozu fosfátovny a poskytuje všeobecné informace z oboru povrchových úprav, zejména pak elektrochemického pokovování. Praktická část se zabývá problematikou použité technologie povlaku Nikl-nikl-chrom, jeho charakteristikou, technologickým postupem, zavěšením náboje kola, provedením pracoviště a řešením problémů s kvalitou pokovení.

ANNOTATION OF THESIS

BÁRTA, T.: Wheel body chromium coating quality improvement. Ostrava: Department of Mechanical technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical university of Ostrava, 2009, 63 p. Thesis, head: Kristofory, F.

Shimano Company plans expansion of surface treatment plant for new wheel body coating technology. Theoretical part of thesis review current condition of phosphate coating plant and provides general information from surface treatment branch, especially electrochemical plating. Practical part concern to used type Ni-Ni-Cr technology dilemma, its characteristic, technological processes, wheel body hanging, design of surface treatment workplace and wheel body coating quality troubleshooting.

Obsah diplomové práce

Úvod	8
1 Zhodnocení současného stavu provozu p. ú.	9
1.1 Fosfátovací linka	9
1.2 Podstata fosfátování	10
1.3 Fosfátování před tvářením za studena	10
1.4 Fosfátování jako ochrana proti korozi	11
2 Postup výroby náboje kola	12
2.1 Tvářením za studena	12
2.2 Třískové obrábění	13
2.3 Tepelné zpracování	14
2.4 Otryskávání	15
2.5 Elektrochemické pokovování	15
2.6 Broušení ložiskových drah	16
Elektrochemicky vylučované povlaky	17
3 Teorie povrchových úprav	17
3.1 Princip vylučování elektrochemických povlaků	19
3.2 Elektrolytické procesy	20
3.3 Elektrolytické reakce	21
3.4 Typy anod	22
3.5 Účel a použití elektrochemických povlaků	22
3.6 Korozní odolnost elektrochemických povlaků	24
3.7 Požadavky na povrchovou úpravu technologií Nikl-nikl-chrom	25
3.8 Požadavky na tloušťku povlaku Nikl-nikl-chrom	27
3.9 Zavěšení náboje kola	28
3.10 Vanové zařízení pokovovací linky a její uspořádání	30

Experimentální část – návrh technologií	31
4 Návrh a odzkoušení technologií pro splnění požadavků a zkvalitnění povlakového systému	31
4.1 Upravené operace technologického postupu	31
4.2 Související další přebrané operace technologického postupu.....	37
4.3 Návrh pokovovací linky.....	38
4.4 Zdroje proudu	39
4.5 Hlavní environmentální problémy	40
5 Kontrola kvality pokovení.....	41
5.1 Nestabilní tloušťka pokovení po obvodu náboje	41
5.2 Velká tloušťka pokovení na ložiskových drahách	43
5.3 Nedostatečná přilnavost povlaku na hranách náboje.....	46
5.4 Poškození povlaku na povrchu náboje při dopravě	48
5.5 Rozdílný odstín povlaků – lesklé a matné	51
5.6 Kontrola parametrů a specifikace pokovení	52
6 Zhodnocení	53
Poděkování	54
Seznam použité literatury	55
Seznam příloh.....	57
Příloha č.1 – Technologický postup fosfátování před tvářením za studena	58
Příloha č.2 – Technologický postup fosfátování jako ochrana proti korozi	59
Příloha č.3 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom	60
Příloha č.4 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom po změně.....	61
Příloha č.5 – Provoz fosfátovny a prostory pro novou technologii	62
Příloha č.6 – Uspořádání pokovovací linky Nikl-nikl-chrom.....	63

Úvod

Japonská firma Shimano je jedním z největších a nejvýznamnějších dodavatelů cyklistických komponentů na světě. V Karvině byla před osmi lety otevřena pobočka Shimano Czech republic, spol. s r.o. Karviná (dále jen SCRS), zaměřená pouze na montáž výrobků z dovážených dílců.

V rámci snahy přesunout z Japonska do Evropy také co největší podíl výroby, byla před třemi lety vytvořena v Karvině dvě nová oddělení: oddělení třískového obrábění a oddělení tepelného zpracování. Z kapacitních důvodů byla v Ostravě-Kunčicích pronajata dvoulodní výrobní hala, kde byla zprovozněna další dvě oddělení: oddělení tváření za studena a oddělení povrchových úprav (fosfátovna).

V současné době je hlavní výrobní činnost společnosti zaměřena na výrobu a montáž dvou modelů sedmirychlostních planetových převodovek pro jízdní kola. Náboj převodovky modelu SG-7R46 je z lakovaného hliníku, náboj modelu SG-7C18 je z oceli STKM 13A (norma JIS). Oba typy nábojů byly v minulosti dováženy přímo z Japonska.

Z důvodu úspory nákladů (doprava, clo) a zkrácení doby dodání byla v minulém roce přesunuta výroba ocelového náboje (tváření za studena, třískové obrábění a tepelné zpracování) do Karvině a v současné době se rozjíždí projekt jeho povrchové úpravy. Pro pracoviště povrchových úprav bylo rozhodnuto využít volné prostory v ostravské pobočce a rozšířit tak stávající provoz povrchových úprav o nové technologie, určené k povlakování náboje elektrochemickým pokovováním metodou Nikl-nikl-chrom.



Obr.1: Model SG-7C18



Obr.2: Model SG-7R46

1 Zhodnocení současného stavu provozu p. ú.

1.1 Fosfátovací linka

V současné době se v závodě Shimano Czech republic, s.r.o. Karviná, pobočka Ostrava-Kunčice, provádí dva typy fosfátování na bázi fosforečnanu zinečnatého. První typ fosfátování je určen pro přípravu povrchu před tvářením za studena, druhý typ jako ochrana proti korozi s následnou impregnací olejem.

Pro oba typy fosfátování je využívána jedna fosfátovací linka, kde jsou fosfatizační roztoky nanášeny ponorem zpracovávaných dílců. Linka sestává z celkem 16 operačních van. Je řešena jako jednořadá, pro hromadné fosfátování v bubnech. Na začátku fosfátovací linky je umístěn vstupní úsek, umožňující plnění bubnů přímo z přepravních europalet. Vyprazdňování zpracovaných dílců z bubnů se provádí na převážecím vozíku přes výsypku opět do připravených přepravních europalet.

Sušení a konečné olejování se provádí v bubnové vanové sušičce. Pro dopravu bubnů se zpracovávanými dílci ve fosfátovací lince a jejich zakládání na příslušná pracoviště je použito dvou podvěsných dopravních manipulátorů typu Aquaman. Nosnost dopravníků je 600 kg. Pohyb dopravních manipulátorů převážecího vozíku je ovládán programovým řízením linky. V případě potřeby lze však tyto manipulátory obsluhovat i ručně pomocí ovládacích skříněk, umístěných přímo na manipulátorech.

Technologický postup fosfátování před tvářením za studena je uveden v příloze č.1.
Technologický postup fosfátování jako ochrana proti korozi viz příloha č.2.



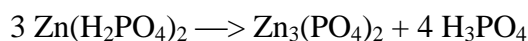
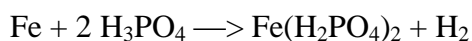
Obr.3, 4, 5: Fosfátovací linka Shimano Karviná, pobočka Ostrava-Kunčice

1.2 Podstata fosfátování

Podstatou fosfátování je přeměna rozpustného dihydrogenfosforečnanu (který je hlavní složkou fosfatizačního prostředku) na nerozpustný hydrogenfosforečnan a fosforečnan příslušného kovu, která probíhá vlivem reakce kovového povrchu s fosfatizačním roztokem. Fosfatizační roztok je v hydrolytické rovnováze a porušením této rovnováhy rozpouštějícím se kovem dochází k vytváření krycí vrstvy, na čistém kovovém podkladu vzniká vrstva fosforečnanu zinečnatého. [5]

Základem lázně je vodný roztok hydrogenfosforečnanu zinečnatého s přidavkem kyseliny fosforečné H_3PO_4 a dalších přísad urychlovače (oxidační látky, např. dusičnany, chlorečnany), které proces urychlují.

Při fosfátování probíhají reakce:



Proces se samovolně zastaví poté, co je povrch pokryt vrstvou fosforečnanu, která již zabránil průběhu reakce. V lázni dochází k uvolňování plynů - vzniká aerosol a dále ke vzniku sraženiny fosforečnanu železitého, která se ukládá na dně fosfatizační vany.

1.3 Fosfátování před tvářením za studena

Při této aplikaci působí fosfátová vrstva ve spojení s vhodnými mazivy jako mezivrstva, která snižuje tření mezi nástrojem a tvářeným výrobkem. Aby došlo k přeměně fosfátové vrstvy na vrstvu s požadovanými mazacími vlastnostmi, musí se fosfátované předměty ponořit do horkého roztoku mýdla. Fosfátová vrstva nejen mýdlo absorbuje, ale také s ním reaguje za vzniku nerozpustných zinečnatých mýdel.

1.4 Fosfátování jako ochrana proti korozi

Fosfátováním se na povrchu kovů vytvářejí antikorozní povlaky, které jsou elektricky nevodivé, a proto snižují velikost korozního proudu. Ve vodě ani v organických rozpouštědlech nejsou rozpustné a mají velmi dobrou soudržnost se základním kovem.

Krystalický charakter fosfatizační vrstvy nadto umožňuje vázat na povrch mnohem více impregnačního prostředku. Vázané množství je tím větší, čím je fosfátová vrstva tlustší a tím se i zvyšuje odolnost fosfátové vrstvy proti korozi. Konečnou operací je impregnace fosfátové vrstvy olejem.



Obr.6: Součástka před a po fosfátování před tvářením za studena

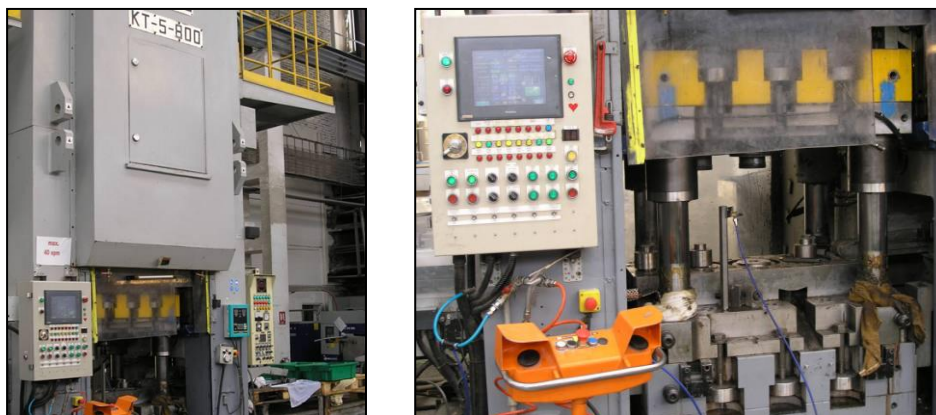


Obr.7: Součástka před a po fosfátování jako ochrana proti korozi

2 Postup výroby náboje kola

2.1 Tváření za studena

Náboj kola je vyráběn z přesné svařované trubky o průměru 57 mm, materiál STKM 13A dle normy JIS. Proces tváření za studena je tvořen celkem 7 kroky. Před každou tvářecí operací je prováděna operace žihání na měkko a fosfátování.



Obr.8, 9: Výstředníkový lis KT-5-800

Výroba náboje kola tvářením za studena:

1. Řezání na hmotnost 778 g
2. Žihání na měkko, teplota výdrže 700 °C, doba výdrže 8 hodin
3. Fosfátování
4. Tváření na lisu KT-5-800 (3 procesy na 1 zdvih)
5. Žihání na měkko, teplota výdrže 700 °C, doba výdrže 2 hodiny
6. Fosfátování
7. Finální tváření na lisu KT-5-800



Obr.10, 11, 12: Výroba náboje kola tvářením za studena

2.2 Třískové obrábění

Po operaci tváření za studena následuje operace třískového obrábění. Náboj kola je obráběn ve třech krocích na číslicově řízených - CNC obráběcích centrech Mori Seiki ZL-150. Třískovým obráběním jsou z povrchu náboje kola odstraněny zbytky fosfátovací vrstvy z procesu tváření za studena.



Obr.13, 14: CNC obráběcí centrum Mori Seiki ZL-150

Výroba náboje kola třískovým obráběním:

1. Hrubování, otáčky 1500 ot/min, tloušťka třísky 5 mm
2. Obrábění na čisto, otáčky 1500 ot/min, tloušťka třísky 1 mm
3. Drážkování, rýhování, otáčky 1500 ot/min, tloušťka třísky 1,5 mm



Obr.15, 16, 17: Výroba náboje kola třískovým obráběním

2.3 Tepelné zpracování

Po operaci třískového obrábění jsou náboje kola převezeny na pracoviště tepelného zpracování, kde se provádí procesy cementování, kalení a popouštění. Po provedeném tepelném zpracování zůstává náboj kola uvnitř materiálu houževnatý a na povrchu tvrdý. Požadavek na tvrdost podle Rockwella je pro HRA 72-85, pro HRC > 50. Tepelné zpracování se provádí v plynových pecích RTQ-10-ERM firmy Ipsen.



Obr.18, 19: Pracoviště tepelného zpracování

Tepelné zpracování náboje kola:

1. Cementování, teplota výdrže 910 °C, doba výdrže 260 minut
2. Kalení do olejové lázně
3. Popouštění, teplota výdrže 220 °C, doba výdrže 60 minut



Obr.20, 21: Náboj kola po tepelném zpracování a po otryskání

2.4 Otryskávání

Otryskávání je způsob mechanické úpravy kovového povrchu, při kterém se tryskací materiál vrhá velikou rychlostí proti povrchu součásti. Smyslem procesu otryskávání je předúprava povrchu náboje kola před následným nanesením elektrochemického povlaku.

Tryskáním se odstraňují chemicky vázané nečistoty (okuje a korozní zplodiny) a také se zlepšují mechanické vlastnosti povrchu (zvýšení pevnosti, meze únavy).

Proces otryskávání se provádí na tryskacím stroji TOSCA TG 10, což je poloautomatický tryskací stroj s nekonečným gumovým pásem. Pro tryskání se používá ocelový granulát S170, který je vrhán metacími koly – turbínami o výkonu 11kW. Doba tryskání náboje kola je 30 minut.



Obr.22, 23: Otryskávací stroj TOSCA TG 10, detail tryskací komory

2.5 Elektrochemické pokovování

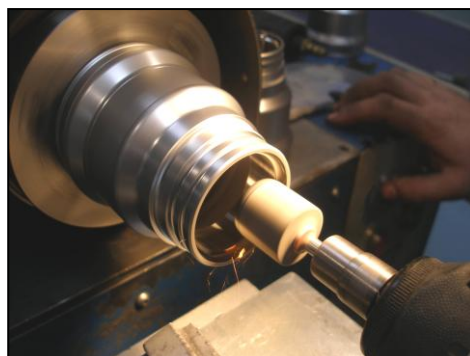
Problematicke elektrochemického pokovení náboje kola je věnována následující teoretická i praktická (experimentální) část této diplomové práce.

2.6 Broušení ložiskových drah

V průběhu procesu pokovování dochází k nanesení chromniklového povlaku také na vnitřní části náboje, kde se nachází ložisková dráha. Jedná se o jev nežádoucí, protože v případě zanechání vrstvy pokovení na ložiskové dráze a následné montáži převodovky, dochází při používání (jízdě na kole) k narušení povlakové vrstvy otáčejícím se ložiskem a k jejímu odlupování (tzv. „peeling“). Odloupnuté kousky pokovení pak vnikají mezi ložiskové kuličky a mají za následek špatnou rotaci ložiska a vibrace během jízdy.

Z tohoto důvodu se provádí jako standartní proces broušení ložiskových drah brousícími kotouči ZY 25x25/6 89A o zrnitosti 150, kde smyslem tohoto procesu je bezesbýtku odstranit vrstvu chromniklového povlaku a také splnit požadavek na výslednou drsnost ložiskové dráhy $Ra < 0,5 \mu m$ a $Rz < 5,0 \mu m$.

Standartní doba broušení ložiskové dráhy je 10 sekund. Při delším intervalu broušení již dochází k poškození tvaru ložiskové dráhy (rádius ložiskové dráhy $R 3,0 \pm 0,1 \text{ mm}$).



Obr.24, 25: Broušení ložiskových drah náboje kola

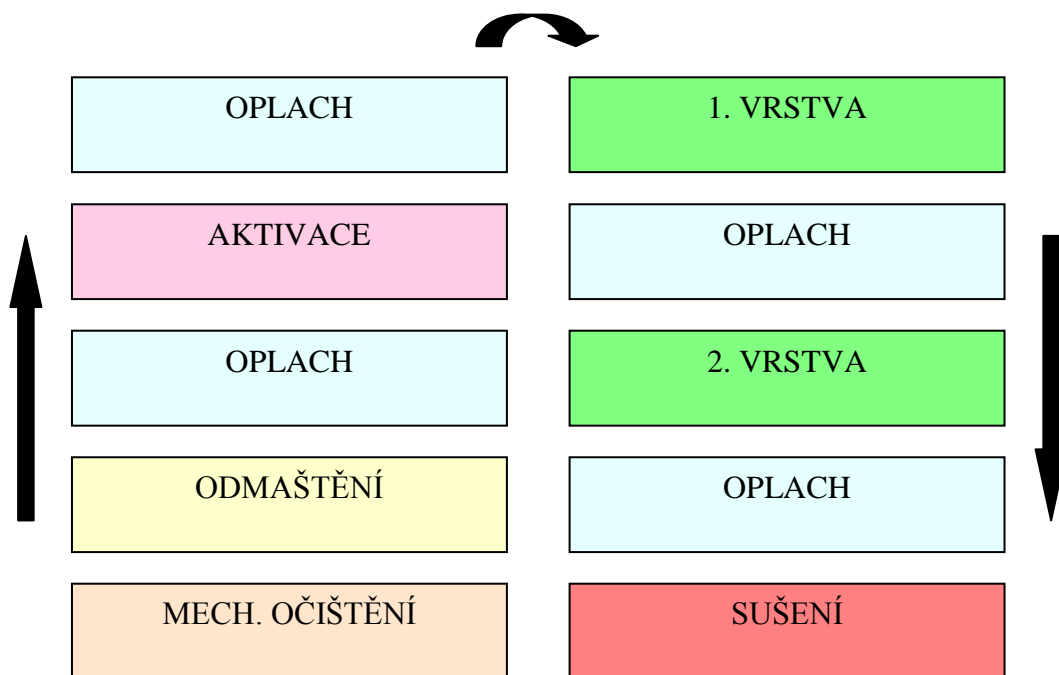


Obr.26, 27: Ložisková dráha před a po procesu broušení

Elektrochemicky vylučované povlaky

3 Teorie povrchových úprav

Povrchové úpravy plastů a kovů jsou většinou prováděny ve vodných roztocích a postupně v jednotlivých zařízeních, obvykle v technologických linkách tvořených řadou nádrží nebo operací. Na obrázku č.28 je uvedeno zjednodušené schéma technologického toku typické provozní linky. Všechny linky jsou tvořeny více než jednou úpravou či operací, obvykle se zařazenými oplachy mezi jednotlivými operacemi. Objem van může být od několika litrů pro nanášení povlaků drahých kovů až do 500 m³ nebo větší pro některá zařízení provozů výroby automobilů a letadel. [9]



Obr.28: Zjednodušené schéma provozní linky

Velikost a uspořádání zařízení a hlavní a doplňkové činnosti jsou dané:

- typem prováděné povrchové úpravy
- zavedenými kvalitativními normami a požadavky
- typem, velikostí a počtem upravovaných dílů
- dopravníkovými systémy potřebnými pro manipulaci s díly

Bez ohledu na složitost a rozsah výrobních operací, všechny díly a polotovary prochází při zpracování stejným sledem výrobních operací. První výrobní operací v provozu je dodávka a uložení vstupních dílů, polotovarů a surovin. Díly nebo součástky jsou zavěšovány na dopravník a prochází předúpravou, například odmašťováním. Většina dílů nebo polotovarů je předupravena ve více než jedné výrobní operaci a některé z nich mohou být nejprve zavěšeny do pokovovací linky.

Díly nebo polotovary jsou poté povrchově upravovány v jedné nebo více výrobních operacích, které jsou hlavní technologií. Oplachy jsou obvykle zařazeny mezi jednotlivé výrobní operace a vždy mezi předúpravou. Povrchová úprava je ukončena následnou úpravou jako je sušení a díly nebo polotovary jsou skladovány a expedovány.

Jako chemické a elektrochemické úpravy jsou uváděny technologické procesy, v jejichž průběhu dochází na povrchu kovu i jiných materiálů k chemické reakci. Při reakci může na povrchu vznikat vrstva, jejíž fyzikální vlastnosti a chemické složení jsou odlišné od vlastností a složení podkladu. Podkladový materiál nemusí, ale může být účasten na chemické nebo elektrochemické reakci, jež na jeho povrchu probíhá.

Ze všech operací povrchových úprav sem pak patří: moření povrchů, chemické a elektrochemické leštění povrchů, elektrolytické vylučování kovů, chemické vylučování kovů, fosfátování, chromátování, vytváření barevných vrstev, chemická a elektrochemická oxidace povrchů.

3.1 Princip vylučování elektrochemických povlaků

Provádí se prakticky výlučně ve vodném roztoku kovových solí a dalších přísad. Postup spočívá v redukci kovového iontu z roztoku soli na kov stejnosměrným elektrickým proudem na záporně nabitém povrchu (katodě), který je pokovován.

Kovové ionty jsou do roztoku buď plynule uvolňovány při obrácené reakci na kladně nabité elektrodě (anodě), vyrobené z vylučovaného kovu, nebo jsou do roztoku doplňovány ve formě vodou rozpustné sloučeniny (soli drahých kovů, oxid chromový). V případě, kdy je kov do roztoku doplňován ve formě sloučeniny, je užívána nerozpustná anoda, na níž se během vylučování (redukce) kovu oxiduje ekvimolární množství záporných iontů.

Dalšími složkami lázně jsou obvykle anorganické sloučeniny, stabilizující hodnotu pH, upravující vodivost lázně, a případně její proudovou a hloubkovou účinnost. Struktura vyloučeného kovu je upravována přísadou specificky působících látek, obvykle organických, které ovlivňují velikost a uspořádání vylučovaných krystalů kovu. Kov je v lázni přítomen buď ve formě jednoduchých nebo komplexních solí. [6]

Nejčastěji vylučovanými kovy jsou zinek, nikl, měď a chrom, které představují více než 90 % celkového množství elektrolyticky vyloučených kovů. Jako kovonosné soli jsou nejčastěji užívány sírany a chloridy. Výjimku představuje chrom, který je prakticky výlučně vylučován z roztoku oxidu chromového. Lázně existují jak v kyselém, tak alkalickém provedení, lázně z jednoduchých solí jsou většinou kyselé. Prakticky pro všechny ostatní známé kovy, které jsou v čistém stavu schopny existence v kontaktu s vodou, jsou k dispozici příslušné technologické postupy elektrolytického vylučování, složení lázní je obdobné.

Z ostatních složek lázně jsou užívány především slabé kyseliny resp. zásady, nebo jejich soli ke stabilizaci pH, malá množství silných kyselin nebo zásad k úpravě pH, silně disociované soli k úpravě vodivosti a velmi široká škála organických látek, většinou povrchově aktivních, které slouží k úpravě vlastností vylučovaného povlaku.

3.2 Elektrolytické procesy

Elektrolytické procesy vyžadují:

- roztok elektrolytů, tj. možnost vedení proudu
- nejméně dva elektronové vodiče (elektrody) a možnost vytvoření článku
- proud, obvykle stejnosměrný (DC), ale může být i střídavý (AC)

Elektrolytické procesy vyžadují elektrolyt pro vytvoření elektrického článku mezi dvěma elektrodami. Jestliže jsou elektrody připojeny ke zdroji stejnosměrného proudu (DC), jedna elektroda - katoda, je negativně nabitá (-), zatímco druhá, anoda, se stává kladně nabitou (+). Kladně nabité ionty (kationty) se v elektrolytu pohybují směrem ke katodě a negativně nabité ionty (aniony) se pohybují směrem k anodě. Tento pohyb iontů elektrolytem vytváří elektrický proud v této části elektrického obvodu. [1]

Pohyb iontů k anodě, vodičem a elektrickým zdrojem (tvořeným usměrňovačem), a poté zpět ke katodě vytváří ve vnějším obvodu proud. Elektrolýza tedy převádí elektrickou energii na energii chemickou.

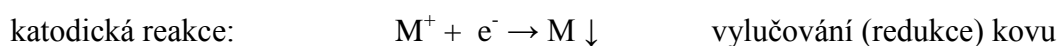
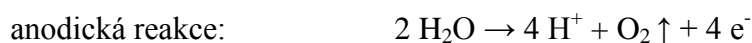
Chemická energie v elektrolytických reakcích je spojena se změnou oxidačního stavu v části obvodu (v elektrolytu, na anodách nebo na rozhraní) a lze jí prokázat např.:

- rozpouštěním kovových iontů v elektrolytu
- vylučováním kovů z elektrolytu
- vytvářením konverzního povlaku změnou oxidačního stavu na anodě
- vývojem plynů (v uvedeném typu článku se obvykle vyvíjí vodík a kyslík)

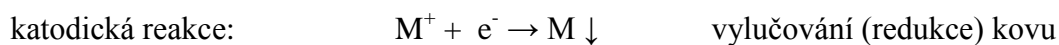
3.3 Elektrolytické reakce

Jestliže je díl nebo polotovar zapojen do obvodu v článku pro elektrolytické vylučování jako katoda, kationty (například kov M^+ a H^+) se začnou pohybovat směrem k němu. Kov (M^+) se vylučuje za současného vývinu vodíku (H^+) jako sekundární katodické reakce. Anionty (X^-) se pohybují směrem k anodě. [6]

Reakce v kyselém roztoku:



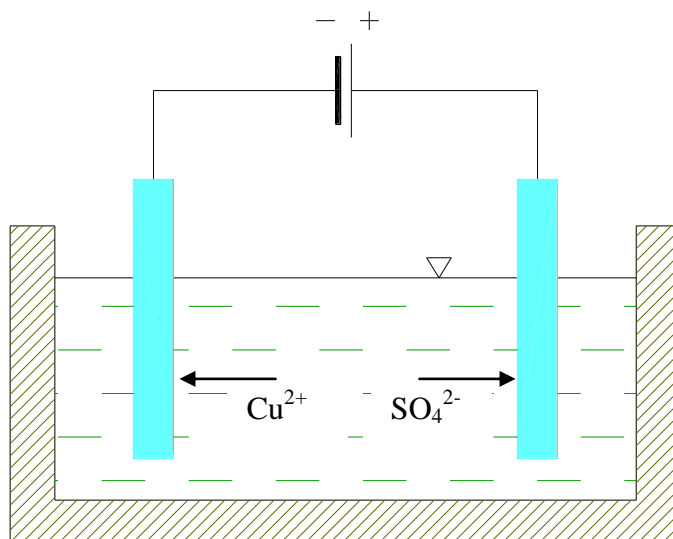
Reakce v alkalickém roztoku:



Příklad vylučování mědi

Roztok síranu měďnatého $CuSO_4$ je disociován na ionty Cu^{2+} a SO_4^{2-} .

Kationty Cu^{2+} jsou přitahovány k záporné elektrodě, anionty SO_4^{2-} ke kladné elektrodě.



Obr.29: Příklad elektrolytického vylučování mědi

3.4 Typy anod

Rozpustné anody

Mají dvě funkce: poskytují ionty kovu do elektrolytického roztoku a vytěsňují kladné ionty směrem k podkladu (tvořícího katodu). Během procesu jsou anody spotřebovávány a je potřeba je pravidelně nahrazovat, aby byla udržena provozuschopnost pracovní lázně. Anody jsou upevněny na nosiči z vodivého materiálu umožňujícím přívod proudu k anodám.

Nerozpustné anody

Mají pouze jednu funkci: vytěsňují kladné ionty směrem ke katodě. Jsou tvořeny vodivými materiály, které se neúčastní reakce v roztoku. Tyto anody se používají v elektrochemických procesech, kde materiál anody nevstupuje do reakce, například při elektrolytickém odmašťování nebo při vylučování chromu, případně vzácných kovů (platina, palladium). V případě procesu pokovování je provozuschopnost pracovní lázně udržována přidávkou roztoků, často ze zásobních nádrží.

3.5 Účel a použití elektrochemických povlaků

Elektrochemicky se nanášejí různé kovy a slitiny, jejichž fyzikální, mechanické i chemické vlastnosti se od sebe značně liší. Jsou mezi nimi zastoupeny měkké kovy, jako je olovo a cín, i kovy tvrdé, jako je nikl nebo chrom. Rozdíl je i v chemických vlastnostech používaných materiálů. Vyskytují se elektronegativní kovy jako zinek a kadmium a inertní kovy reprezentované zlatem a platinou.

Také barva nanášených kovů je různá, od bílého zinku, kadmia a stříbra přes žlutou mosaz, zelené a červené slitiny zlata až po černou platinu a černý nikl. Značný význam mají i elektrické a magnetické vlastnosti nanesených povlaků. Úpravou podmínek při elektrochemickém povlakování mohou být významně ovlivněny i charakteristické chemické a fyzikální vlastnosti povlaků.

Současným nanášením dvou nebo více kovů tak, aby vznikly slitiny, nebo postupným nanášením vrstev různých kovů, z nichž se také mohou, pozdějším tepelným zpracováním vytvářet slitiny, lze získávat povlaky různých speciálních vlastností. Například povlak ze slitiny nikl-zinek má elektrochemické vlastnosti, které odpovídají vlastnostem obou použitých kovů. Naproti tomu elektrochemicky nanesený povlak slitiny cín-nikl se vyznačuje vlastnostmi zcela odlišnými od vlastností původních kovů. Povlaky ze slitin kobaltu a wolframu vynikají odolností proti opotřebení a erozi.

Elektrochemické povlaky lze rozdělit podle použití do tří skupin:

Do první skupiny patří povlaky určené pouze pro ochranu proti korozi. Jejich typickým příkladem jsou tlusté zinkové povlaky na komunikačních linkách nebo niklové povlaky uvnitř ocelových potrubí a jiném strojním vybavení, používaném k manipulaci s fluorovými sloučeninami uranu.

Do druhé skupiny patří povlaky, které mají kromě antikorozní ochrany plnit ještě jinou funkci. Příkladem povlaků tohoto druhu je cínový povlak plechů určených k výrobě konzerv. Má nejen chránit ocelový plech proti korozi při přepravě a dočasném skladování, ale také zlepšovat vzhled povrchu, usnadňovat pájení švů konzerv a po doplnění vhodným organickým povlakem chránit obsah konzervy proti korozním zplodinám. Do této skupiny patří také většina dekorativních povlaků o složení měď-nikl-chrom a nikl-chrom. Tyto povlaky chrání povrch dlouhodobě proti korozi a zároveň mu dávají pěkný, dekorativní vzhled. Příkladem mohou být povlaky používané pro úpravu částí automobilů, armatur a různých elektrických zařízení. Tato skupina povlaků tvoří největší část produkce elektrochemického průmyslu.

Do třetí skupiny se zařazují povlaky, u nichž není rozhodující vzhled a ochranná funkce, nýbrž speciální vlastnosti. Sem patří železné, niklové a chromové povlaky válců a ostatních vnitřních částí spalovacích motorů, zlepšující odolnost těchto částí proti opotřebení a usnadňující mazání. Mosazné povlaky se používají pro zlepšení přilnavosti pryže ke kovu.

3.6 Korozní odolnost elektrochemických povlaků

Ochranná hodnota elektrochemického povlaku spočívá ve schopnosti chránit základní kov před korozi. Mezi rozhodujícími faktory patří tloušťka a celistvost povlaku, korozní vlastnosti povlaku i základního kovu, elektrochemické vztahy mezi povlakem a základním kovem a okolní prostředí, kterému bude povlak vystaven. I když povlak sám může poskytovat dokonalou ochranu základnímu kovu, mohou jeho ostatní vlastnosti způsobit, že bude pro daný účel naprosto nevhodný. Tak například povlaky ze zinku a kadmia o dostatečné tloušťce poskytují často výbornou ochranu pro ocel, ale snadno tmavnou a ztrácejí lesk, takže je nelze používat jako dekorativní povlaky. [9]

Všeobecně lze říci, že korozní vlastnosti nepórovitých elektrochemických povlaků jsou v podstatě stejné jako vlastnosti litých kovů a jejich slitin stejného složení. Znalost korozivních vlastností elementárních kovů a jejich slitin je předpokladem správné volby povlaků pro specifické účely.

Protože ke korozi základního kovu může dojít při jakékoliv necelistvosti povlaku, je ochranná funkce elektrochemických povlaků závislá na tom, jak celistvý, nepórovitý obal kolem tohoto kovu jsou schopny vytvořit. Dalším důležitým faktorem je prostředí, které povlak obklopuje.

Nejčastějším typem koroze, která se vyskytuje, je důlková koroze. Velmi tenké povlaky, například o tloušťce menší než 5 mikrometrů, obsahují drobné trhlinky, zasahující až k základnímu kovu. Počet těchto trhlinek se znatelně zmenšuje s rostoucí tloušťkou povlaku. Stanovit tloušťku, při které je elektrochemický povlak zcela celistvý, je velmi nesnadné až nemožné, neboť tato tloušťka závisí nejen na povlaku samém, ale i na čistotě jeho povrchu, na kvalitě povrchu a na typu základního kovu.

Z toho vyplývá, že elektrochemické vztahy mezi základním kovem a povlakem mají velký vliv na schopnost povlaku chránit základní kov proti korozi. Zvláště je třeba zdůraznit, že je nutné nanášet povlaky o dostatečné tloušťce vrstvy tak, aby byla zajištěna její celistvost po celou předpokládanou dobu životnosti povlaku.

3.7 Požadavky na povrchovou úpravu technologií Nikl-nikl-chrom

Niklové povlaky splňují požadavek antikoroze ochrany s požadavkem dekorativního vzhledu. Antikoroze ochrana niklem (elektropozitivní povlak) je úměrná tloušťce povlaku. Nikl výborně odolává korozi téměř ve všech typech prostředí. Pro dekorativní účely se však někdy pokrývá tenkou vrstvou chromu. Ve speciálních případech se jako další povlaky používají stříbro, zlato, platina nebo cín.

Niklovými povlaky se často obnovuje povrch opotřebovaných a zkorodovaných součástí a slouží také k elektroformování speciálních forem a tvarů. Niklové povlaky jsou zárukou toho, že se výrobky trvale neznečistí a nezabarví.

Niklové povlaky se často užívají pro zamezení koroze při manipulaci a skladování výrobků chemického a potravinářského průmyslu, a to i tehdy, jestliže prostředí není považováno za korozivní.

Používání vícevrstevných niklových povlaků se stalo začátkem podstatných změn při aplikaci dekorativních povlaků pro ztížené atmosférické podmínky. Výsledky výzkumu potvrdily, že nikl nanesený ve dvou vrstvách má mnohem lepší ochranné schopnosti než jedna vrstva niklu o stejné tloušťce.

Proto se v posledních letech téměř všeobecně nanášejí na dekorativní části automobilů, lodí a jiných zařízení vystavených těžším atmosférickým podmínkám duplexní povlaky niklu a dvojité povlaky nikl-chrom.

Duplexní systém niklu je účinnější v důsledku rozdílného elektrochemického chování ušlechtilějšího, síru neobsahujícího pololesklého niklu, který tvoří dvě třetiny až tři čtvrtiny celkové tloušťky niklové vrstvy a aktivnějšího lesklého niklu s obsahem síry. Póry tenké chromové vrstvy se stávají místem tvorby elektrochemických článků a tak dochází k počátečnímu pronikání lesklého niklu do chromové vrstvy.

Lesklý nikl je korodován snáze než nikl bez obsahu síry, a zabraňuje tak další penetraci až k základnímu materiálu. Duplexní systémy jsou účinné především v prostředí, kde se vyskytují silné elektrolyty, jako je např. chlorid sodný, a které není příliš kyselé. Dobře se osvědčily tam, kde se používá sůl k odstraňování sněhu a námraz, a v přímořských oblastech.

Modifikací duplexního niklu je systém obsahující poměrně tenkou niklovou vrstvu s velkým obsahem síry (0,15 až 0,2 % S), nanesenou mezi vrstvu pololesklého povlaku niklu prostého síry a lesklou vrstvou niklu. Tento způsob antikoroze ochrany našel pro své výborné antikoroze vlastnosti i při poměrně malé tloušťce vrstvy široké uplatnění. V tomto systému může být vrstva pololesklého niklu i tenčí, než je polovina celkové tloušťky povlaku, bez ztráty antikoroze účinnosti. [4]

Dalšího zvýšení trvanlivosti elektrochemických niklových povlaků se dosáhlo aplikací mikroporézních ochranných povlaků, jejichž účinek spočívá v tom, že koroze proudy působí pouze na povrchu a rozptýlí se do mnoha povrchových koroze center. Výsledkem je jednodušší koroze napadení, které však nepůsobí nebezpečnou důlkovou korozi. Podařilo se zvýšit trvanlivost povlaku pomocí mikroporézního vrchního chromového povlaku tak, že velice jemná mřížka trhlinek v chromu vytvořila velké množství zárodků koroze niklu.

Tloušťka chromových povlaků se obvykle pohybuje od 0,1 do 0,4 μm a doba vylučování je od 2 do 13 minut. Vyloučené povlaky mají typické bílo-modré zbarvení a jsou velmi odolné k ztmavnutí.

3.8 Požadavky na tloušťku povlaku Nikl-nikl-chrom

Nejdůležitějším faktorem rozhodujícím o výběru elektrochemického povlaku je účel úpravy povrchu a využití upraveného povrchu. Vedle toho se musí přihlížet k ceně povlaku i k postupu nanášení, předpokládané životnosti upravovaného povrchu a k tomu, jakým vnějším vlivům bude povrch vystaven.

Náboje převodovek modelu SG-7C18 vyráběných v Japonsku jsou elektrochemicky pokovovány technologií nikl-chrom s požadavkem na tloušťku niklu $> 8 \mu\text{m}$ a $> 0,1 \mu\text{m}$ chromu.

Jako alternativní typ povlaku, vyhovující požadavkům na povlakování náboje kola jak po stránce estetické, tak po stránce ochranné proti korozi, jsem tedy navrhl technologii Nikl-nikl-chrom, kde první vrstvu tvoří pololesklý nikl o tloušťce $10 \mu\text{m}$, druhou vrstvu saténový nikl o tloušťce $5 \mu\text{m}$ a třetí vrstvu chromový povlak o tloušťce $0,3 \mu\text{m}$.

Tab.1: Požadavky na tloušťku vyloučených povlaků

Typ technologie	Povlak	Tloušťka [μm]	Označení
Nikl-nikl-chrom	Ni	cca 10	Fe/Ni15d Cr r
	Ni	cca 5	
	Cr	cca 0,3	



Obr.30: Náboj kola před a po pokovení Nikl-nikl-chrom

3.9 Zavěšení náboje kola

Jestliže jsou součástky v odpovídajícím stavu pro požadovanou povrchovou úpravu, vstupují do procesu jedním z dále uvedených dopravních způsobů:

- závěsy nebo rošty: rámy nesoucí díly samostatně nebo ve skupinách
- bubny: plastové válce obsahující několik dílů
- pásy: pásy nebo svitky podkladového materiálu.

Pro přepravu nábojů kola navrhuji ruční zavěšování na závěsy.

Závěsy

Závěs pro elektrochemické pokovování je přípravek, který slouží k přidržení pokovovaného zboží v určité poloze v lázni, přičemž do něho současně přivádí elektrický proud. Závěsy zajišťují umístění a pohyb součástek v lince i elektrické spojení v procesu elektrolýzy. Závěsy lze použít pro díly všech velikostí od malých, jako jsou šperky a malé přesné součástky pro motory, až po rozměrné díly letadel nebo automobilové karosérie. Malé součástky jsou manuálně umísťovány na závěsy (rámy). Jsou zavěšeny, obvykle uchyceny na pružinu tvořící část závěsu, který slouží jako elektrický vodič. [5]

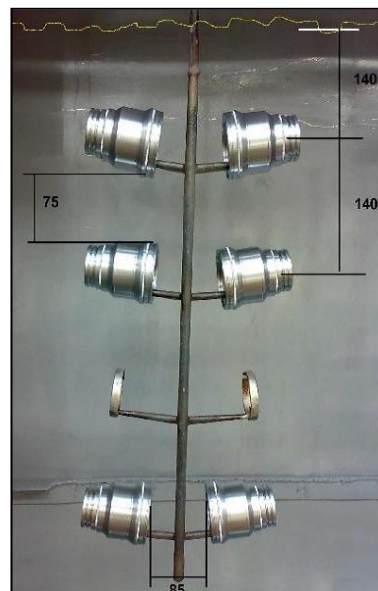
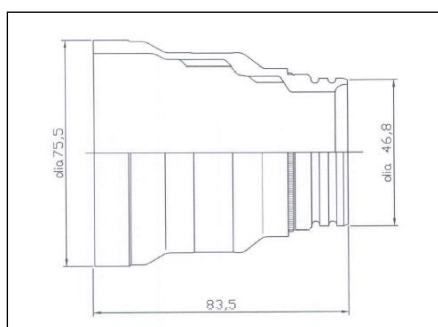
Závěsy jsou umístěny na dopravníkové tyče, tyto tyče zajišťují jak pohyb závěsu v lince k jednotlivým operacím, tak v případě potřeby elektrického proudu pro danou výrobní operaci i elektrický kontakt. Dopravníkové tyče jsou v každé pracovní nádrži umístěny v úchytech do tvaru V, které tvoří také elektrické kontakty pro dané nádrže.

Celková délka závěsu pro zavěšení náboje kola je 0,7 metru. Vzdálenost mezi patry je 140 mm (vzdálenost mezi náboji je tedy 75 mm), vodorovná rozteč mezi náboji 85 mm. Kapacita je 8 nábojů na závěs, na každé straně 4. Provedení závěsu umožňuje zavěšení pokovovaných součástek na pružné prstence. Hmotnost závěsu i s dílci nebude přesahovat 8 kg. Na jednu dopravníkovou tyč bude umístěno 6 závěsů, tedy celkem 48 kusů nábojů.

Pro zlepšení rozložení proudu na pokovované předměty se musí závěsy kromě kontaktů izolovat. Jako izolace bude použita izolační hmota Blasoplast, Bralen nebo Progal, odolávající kyselinám a hydroxidům při teplotách do 120 °C.

Případně jako další alternativa je možné použití PVC plastisolu. Jedná se o viskozní těstovitou kapalinu, do níž se předem očištěný závěs ponoří. Hmota, která se na závěsu uchytí se dalším ohřevem želatinuje. Plastisoly odolávají všem elektrochemickým lázním.

Izolace závěsů musí být celistvá, nesmí vykazovat poškození, kterým by mohlo docházet k přenosu lázně z jednoho procesu do dalšího. Všechny pružné prstence musí být funkční, aby nedocházelo k odpadávání součástí do lázní a tím ke snižování kapacity linky.



Obr.31, 32, 33: Základní rozměry náboje a provedení závěsů

3.10 Vanové zařízení pokovovací linky a její uspořádání

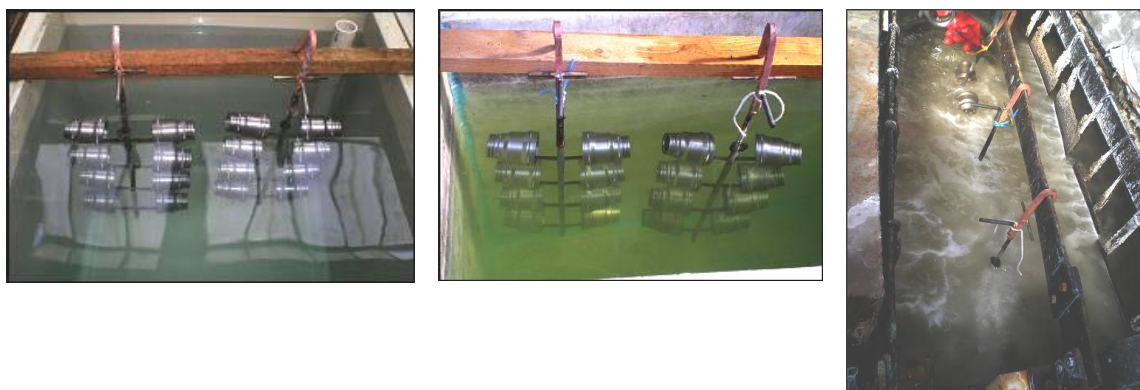
Pokovovací linka je sestavena z jednotlivých van, umožňujících pokovování ocelových dílců na závěsech podle předem daného technologického postupu. Materiálové provedení van včetně jejich vybavení je voleno tak, aby odpovídalo chemickému a tepelnému zatížení jednotlivých van. Rozměry van se liší podle dané technologické operace.

Vany pro elektrolytické pokovení jsou vybaveny přívodem stejnosměrného proudu s regulací a měřením.

Vana pro chemické odmašťování je dokořpletována odlučovačem oleje. Pomocí tohoto odlučovače je odmašťovací lázeň zbavována oleje a vyčištěná lázeň je vracena zpět do operační vany. Odlučovač je s příslušnou vanou propojen potrubím s čerpadlem. Všechny vany jsou vybaveny výpustí s ventilem pro případné vypuštění lázně.

Vany pro teplé operace jsou vybaveny horkovodními topnými registry pro vytápění lázní na předepsanou pracovní teplotu. Topné registry jsou dokořpletovány automatickou regulací teploty pro udržování předepsané teploty v požadovaném rozsahu. Materiál topných registrů je vždy volen s ohledem na použité lázně.

Operační vany, v nichž dochází k vývoji škodlivin jsou vybaveny odsávacími rámy. Odsávací rámy jsou řešeny jako krabicové s kruhovým výstupem škodlivin.



Obr.34, 35, 36: Vany pokovovací linky Nikl-nikl-chrom

Experimentální část – návrh technologií

4 Návrh a odzkoušení technologií pro splnění požadavků a zkvalitnění povlakového systému

4.1 Upravené operace technologického postupu

Potřebné technologie pro daný elektrochemický proces jsem navrhl na základě získaných teoretických poznatků a odborných rad pracovníků z oboru.

Ověřovací zkoušky navržených lázní a technologií byly prováděny v laboratořích Elektrochemie a elektroformování kat. 345, FS VŠB –TU Ostrava a poloprovozní zkoušky pak na výzkumném pracovišti firmy Velobel, spol. s r. o. Zlaté hory.

Jako výchozí technologický postup byl použit materiál původní pro pokovování nábojů kol firmy Velobel, spol. s r.o. Zlaté hory.

Na základě negativních poznatků z dosud používané technologie a v návaznosti na průběžně prováděné kontroly kvality pokovení a své experimentální činnosti jsem stanovil postup nový, který uvádím v příloze č.4.

a) Chemické odmašťování

Před samotným procesem pokovování je potřeba součástky odmastit. Z tohoto důvodu navrhuji jako první operaci předúpravy chemické odmašťování s následným průtočným oplachem. Teplotu při chemickém odmašťování doporučuji raději vyšší, minimálně 70 °C, skutečně používanou teplotu pak můžeme upravit (snížit) podle stavu odmaštění pokovovaných součástek.

Závěsy s navlečenými náboji se zavěsí do vany chemického odmaštění - celkem 6 kusů. Po zavěšení posledního závěsu obsluha aktivuje časovač, který odměřuje stanovený čas odmašťování - doporučuji 8 minut.

Pro míchání během odmašťování volím ejektorové míchání, při míchání vzduchem hrozí pění. Po uplynutí daného časového intervalu se závěsy vyjmou a přemístí k další operaci – průtočnému oplachu..



Obr.37: Proces chemického odmašťování

b) Moření

Doporučuji přidat moření před operaci elektrochemického odmašťování z důvodu odstranění případných zbytkových oxidů. Po oplachu se závěsy zavěsí do mořící lázně. Volím moření v 12 % kyselině chlorovodíkové a v přípravku UNICLEAN 501 za pokojové teploty, dobu moření navrhují 7 minut. Po uplynutí předepsaného času se závěsy přemístí do oplachové vany. Po studeném oplachu (pokojová teplota) bude následovat elektrolytické odmašťování.

c) Anodické odmašťování

Elektrolytické odmašťování má za úkol odstranit zbytky ulpělých nečistot. V principu se jedná o elektrolýzu, kde dochází k disociaci látek alkalického roztoku. Na katodě se vylučuje vodík a alkalický kov, který je nestálý a slučuje se ihned s vodou na alkalický hydroxid.

Je-li součástí katodou, je odmašťování zintenzivněno chemickým působením koncentrovaného hydroxidu a mechanickým odtrháváním mastnot vznikajícími bublinkami vodíku. Nevýhodou je difuze vodíku do povrchu kovu a s tím spojená vodíková křehkost.

Zavěsí-li se součástky za anodu, kov se rozpouští a vylučuje se kyslík, který je opět schopen zintenzivnit mechanickým účinkem odtrhujících se bublinek odmašťování. Nejúčinnější je katodicko-anodické odmašťování, při kterém se odmašťují součástky určitou dobu na katodě a kratší dobu na anodě (poměr času asi 3:1). [3]

I když se při anodickém odmašťování v bezkyanidových elektrolytech vyvíjí poměrně málo kyslíkových bublinek, dosahuje se výborných výsledků (vyšší účinnost v porovnání s katodickým odmašťováním). Proto v případě pokovení náboje kola volím anodické odmašťování při teplotě 61 °C po dobu 5 minut za proudových podmínek 20 A/dm² a 15 V.

Závěsy se po oplachu zavěsí na anodovou tyč vany elektroodmaštění. Po zavěšení musí lázeň okolo závěsu "vřít", což je doklad toho, že závěs má dobrý kontakt. Po umístění všech 6 závěsů obsluha aktivuje časovač, který odměřuje stanovenou dobu elektroodmašťování (5minut). Po signalizaci časovače se závěsy postupně přemístí do průtočného oplachu. Náboje musí mít po vyjmutí z elektroodmašťování jednolitou tmavě šedou barvu.



Obr.38, 39, 40: Proces anodického odmaštění

d) Dekapování a průtočný oplach

Před vložením náboje kola do niklovacích lázní musí proběhnout dekapování (aktivace) jeho povrchového filmu. Proces má za úkol vytvořit čistý podklad nezbytný pro proces elektrochemického pokovení. Povrch je ve vodném roztoku kyseliny (HCl) zbaven všech oxidických nečistot na povrchu.

Dekapování navrhuji v 5% kyselině chlorovodíkové a v přípravku UNICLEAN 698 při pokojové teplotě lázně (20 °C). Poté navrhuji studený oplach. K míchání doporučuji použít míchadlo umístěné do rohu nádrže, nevhodné je čeření vzduchem, protože dochází k úniku HCl.

Závěsy se přenesou do vany aktivačního moření (dekapování), kde se zavěsí a ponechají po dobu 20 vteřin, následně se ponoří do oplachové vany a po krátkém oplachu (10 vteřin) se vkládají do niklovací vany. Při této operaci je důležité postupovat tak, aby byla časová návaznost dekapování – oplach - zavěšení do niklovací vany. Důležité je dodržet čas aktivačního moření a nepřesáhnout čas oplachu.



Obr.41: Proces dekapování

e) Pololesklý nikl

Vylučování pololesklého niklu navrhuji v síranové lázni, kde nositelem kovu je síran nikelnatý (150 – 180 g/l) a jako vodící sůl je použit chlorid nikelnatý (30 – 35 g/l). Lázeň dále obsahuje kyselinu boritou (34 - 40 g/l) a leskutvorné přísady (5 - 10 ml/l). Lázeň bude pracovat s proudovou hustotou 6,1 A/dm² při elektrickém napětí 8 V. Dobu vylučování doporučuji 11 minut.

Čeření lázně navrhuji vzduchem, teplotu 50 °C bude zajišťovat teplovodní vytápění a elektrický dohřev 6 kW. Vana by měla obsahovat čidlo na hlídání teploty. Odsávání doporučuji umístit na zadní a boční straně.

Dvojice závěsů se zavěsí k zarážkám na katodové tyči a zajistí páčkou na zadní straně tyče. Tímto způsobem musí být závěs k tyči pevně přichycen a nesmí se volně pohybovat. Dbá se na správný kontakt mezi závěsem a katodovou tyčí, hák závěsu musí tyč těsně obepínat. Stejně se postupuje s dalšími dvěma páry, celkem je ve vaně 6 závěsů.

Na obou koncích anodové tyče, těsně u závěsů, bude zavěšena opalovací elektroda, která eliminuje zvýšený výnos kovu na krajní náboje. Nastavení proudových hodnot může měnit pouze seřizovač nebo technolog. Aktuálně nastavený proud bude zapsán na tabulce, umístěné pod ovládacími skřínkami.

Při plně založené vaně sleduje obsluha hodnotu proudu na měřícím přístroji, která musí být stejná, jako údaj, zapsaný na tabulce a nesmí kolísat. Pokud tomu tak není, znamená to, že některý ze závěsů případně z nábojů má špatný kontakt. Kontrolou jednotlivých závěsů se musí tento stav napravit. Po signalizaci časovače pro příslušný pár závěsů se tento pár vyjme, opláchne a postupuje do vany pro saténové niklování.



Obr.42, 43, 44: Proces pololesklého niklování

f) Saténový nikl

Lázeň pro saténový nikl navrhují opět jako síranovou, tedy roztok síranu nikelnatého (400 - 450 g/l), chloridu nikelnatého (30 - 35 g/l), kyseliny borité (34 - 40 g/l), leskutvorných přísad (5 - 10 ml/l) a saténovací přísady (0,01 – 0,02 ml/l), ve kterém bude probíhat elektrolýza po dobu 11 minut při proudové hustotě $4,7 \text{ A/dm}^2$ a elektrickém napětí 8 V.

Pro čerání lázně navrhuji ejektorové míchání čerpadlem, teplotu 55 °C bude zajišťovat teplovodní vytápění a elektrický dohřev 6 kW. Vana by měla obsahovat čidlo na hlídání teploty. Odsávání doporučuji zajistit jednostranným odsávacím rámem.



Obr.45, 46, 47: Proces saténového niklování

Chromování

Chromování navrhuji provádět v lázni složené z oxidu chromového (280 - 310 g/l), kyseliny sírové (1 - 2 ml/l) a katalyzátoru (40 - 60 g/l), ve které bude probíhat elektrolýza po dobu 3 minut při proudové hustotě 19 A/dm² a elektrickém napětí 5 V. Vrstva chromu se vylučuje z oxidu chromového, materiál nerozpustné anody navrhuji olovo legované cínem.

Pro operaci chromování navrhuji čerání lázně vzduchem, které se nepoužívá pořád, ale je důležité kvůli občasnému promíchání



Obr.48, 49: Proces chromování

4.2 Související další přebrané operace technologického postupu

a) Průtočný oplach

Oplachové vany jsou čereny vzduchem, se spodním vypouštěcím otvorem. Studený oplach je proveden s nucenou cirkulací ke dnu a přepadem pomocí kuželové trubky. Odsávání je zajištěno pomocí štěrbinových odsávacích rámců.

b) Vodní oplachy

Závěsy se ponoří do oplachové vany, předepsaný čas 5 vteřin. U třetího vodního oplachu po saténovém niklu, může být doba oplachu delší, nesmí však přesáhnout 4 minuty, aby nedošlo k deaktivaci povrchu.

c) Aktivační oplach před chromováním

Před samotným procesem chromování poniklovaných nábojů kol budou nejprve jejich plochy aktivovány ponorem do roztoku oxidu chromového (4 - 6 g/l) a kyseliny sírové (0,4 - 0,6 ml/l) při pokojové teplotě po dobu cca 10 vteřin.

Horký vodní oplach ,sušení

U prvního horkého oplachu (60 °C) se závěsy zavěsí do vany a ponechají se zde asi 1 minutu. U druhého horkého oplachu se náboje sundají ze závěsů, uloží se v koši a opět se zde ponechají po dobu 1 minuty. Při procesu sušení se náboje naskládají do sušárny a zde se ponechají po dobu 15 minut



Obr.50, 51: Závěrečný horký oplach, sušení

4.3 Návrh pokovovací linky

Navrhovaná pokovovací linka bude tvořena několika kusy (dle technologického postupu) operačních van. V těsné blízkosti pokovovací linky navrhuji umístit čistírnu odpadních vod pro zpracování oplachových vod a znehodnocených lázní.

Celou technologii pokovovací linky a čistírny odpadních vod je nutno uložit v záchytné betonové vaně. Dle mého návrhu by měla být vana tvořena betonovou zaizolovanou podlahou a betonovým zvýšeným prahem o výšce 0,1 metru. Podlahu, zdi i prahy doporučuji opatřit nepropustnými nátěry.

Provozní kapaliny, resp. látky závadné vodám (např. kyselina sírová, chlorovodíková) budou uloženy v kontejnerech o objemu 1 m³ vedle technologie. Dávkování kapalin do čistírny odpadních vod navrhuji provádět zcela automaticky (provozní čerpání) a také pro dávkování kapalin do pokovovací linky doporučuji použití automatického dávkování veškerých přísad po uplynutí příslušných A/h. Obaly látek závadných vodám musí být uloženy na roštích a v kovových záchytných vanách.

Stávající oddělení povrchových úprav (fosfátovna) zaujímá necelou polovinu rozlohy výrobní haly. Výrobní hala má rozměry 75 m × 25 m a výšku 12 m, v hale je tedy v současné době volný prostor minimálně 35 m × 25 m, který je vhodný a dostačující k rozšíření o další operace elektrochemického pokovování.

Stav současného provozu fosfátovny v Ostravě-Kunčicích včetně vyznačeného prázdného prostoru pro novou technologii elektrochemického pokovení povlakem Nikl-nikl-chrom jsem zakreslil v příloze č.5.

Můj návrh na umístění nové pokovovací linky do volného prostoru fosfátovny je nakreslen v příloze č.6.

4.4 Zdroje proudu

Zdroje stejnosměrného proudu - usměrňovače jsem volil podle požadovaného napětí (záleží na lázni, obvykle je to 6 až 10 V pro závěsy a 15 až 18 V pro bubny). Proud závisí na velikosti vsázky [dm^2] a na požadované katodické proudové hustotě nutné pro vylučování jednotlivých typů povlaků [A/dm^2]. Proudová hustota bývá obvykle 0,5 až 1 A/dm^2 pro bubnové procesy, 3 až 8 A/dm^2 pro závěsové procesy, pro chromování až 20 A/dm^2 . Přesné proudové podmínky jsou uvedeny v technologickém procesu u příslušných lázních.

V našem případě je plocha jednoho kusu pokovovaného dílce (náboje kola) 0,51 dm^2 . V jedné vsázce bude pokovováno 48 nábojů, celková velikost vsázky je tedy 24,5 dm^2 .

Na základě proudových podmínek jednotlivých procesů jsem navrhl použití těchto zdrojů stejnosměrného napětí od firmy Dehor - Elspec Litvínov s.r.o.: [17]

Tab.2: Usměrňovače pro jednotlivé operace

Název operace	Typové označení usměrňovače	Napětí [V]	Proud [A]
Anodické odmaštění	SZ 1000 15/400	15	1000
Pololesklé niklování	SZ 500 15/400	15	500
Saténové niklování	SZ 500 15/400	15	500
Chromování	SZ 1000 15/400	15	1000



Obr.52, 53: Použité spínané zdroje od firmy Dehor Elspec Litvínov s.r.o

4.5 Hlavní environmentální problémy

Provoz musí být jištěn záchytnými vanami nebo obdobným opatřením pro případ porušení těsnosti vany, dále musí být zachycovány úkapy při přenosu zboží mezi vanami a kanalizace musí být svedena do čistírny odpadních vod. Provoz musí být vyřešen tak, aby nemohlo dojít ke znečištění povrchových vod ani při havárii (zvýšené prahy, podlaha řešená jako kyselinovzdorná vana).

Při hodnocení pracovního a životního prostředí se sledují faktory, které člověka obklopují a působí na něj a které v případě nevhodných parametrů negativně ovlivňují jeho pracovní výkon, pohodu, zdraví. Na pracovišti povrchových úprav se jedná především o čistotu, teplotu a vlhkost vzduchu, rychlost jeho proudění a osvětlení.

Z hlediska venkovního prostředí se sleduje čistota vzduchu a nezávadnost vodních toků. Kvalitativní požadavky na životní prostředí určují obecné zákony, vyhlášky, státní a oborové normy, hygienické směrnice apod.

Optimální parametry pracovního prostředí v provozu povrchových úprav:

- teplota vzduchu 15 – 22 °C
- relativní vlhkost vzduchu 35 – 60 %
- rychlost proudění vzduchu 0,08 – 0,1 m/s
- osvětlení 180 – 300 luxů

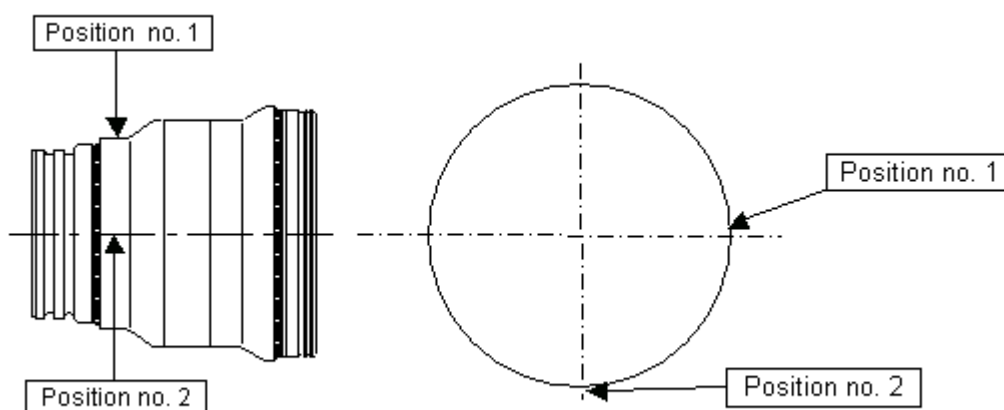
Na nově budovaném pracovišti elektrochemických povrchových úprav v Ostravě-Kunčicích navrhuji využití stávající chemické kanalizace a odsávacího zařízení. Vyjímkou je čištění vzduchu a zneškodňování odpadních vod u chromovací linky, protože i trojmocná forma chromu má toxické účinky. Zneškodňování zpravidla spočívá ve vysrážení ve formě nerozpustného hydroxidu.

Vyčerpané chromové lázně se budou posílat k renovaci do firmy zaměřené na tuto činnost. Čištění vzduchu odsátého z chromové lázně se bude provádět vhodným odlučovacím zařízením.

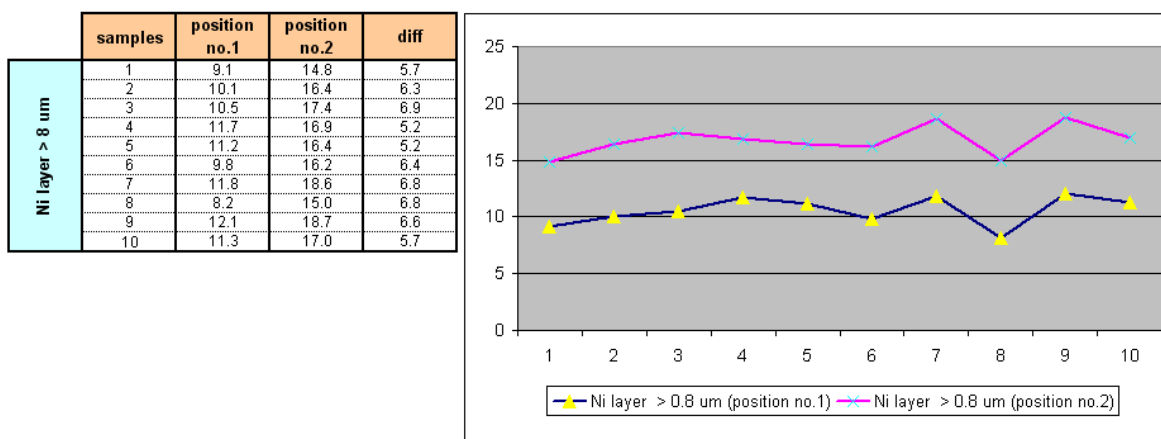
5 Kontrola kvality pokovení

5.1 Nestabilní tloušťka pokovení po obvodu náboje

Pro kontrolu tloušťky chromniklového povlaku jsem použil měření coulaskopickou metodou (destruktivní metoda odleptáváním pokovených vrstev kyselinami). Měření je prováděno na dvou místech vnějšího obvodu náboje, tato místa jsou vzájemně pootočená o 90°. V rámci měření jsem našel velkou nesouměrnost mezi těmito dvěma pozicemi měření, pro tloušťku vrstvy niklu se jednalo o rozdíl až 6,9 μm .



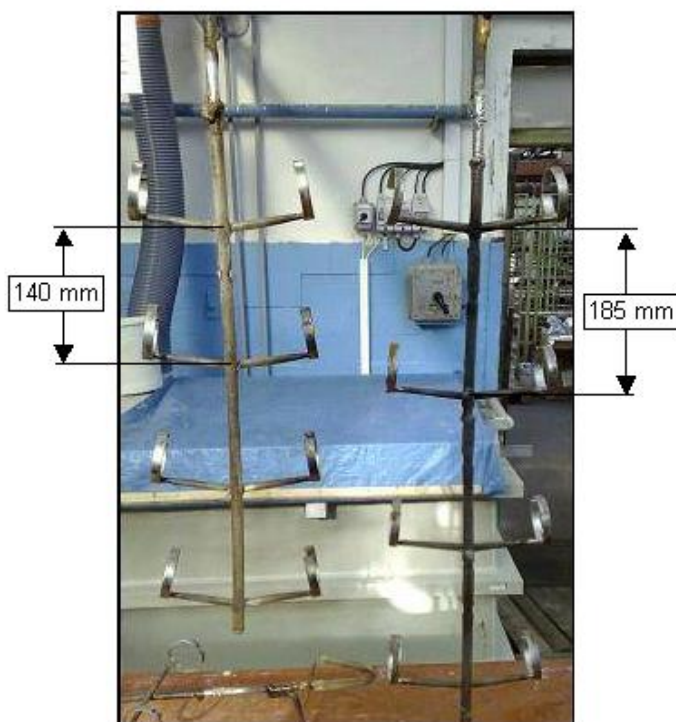
Obr.54: Pozice měření tloušťky pokovení



Obr.55: Rozdíly mezi tloušťkou pokovení v pozici 1 a 2

Z důvodu nevyhovujících výsledků měření jsem provedl testy se snahou docílit rovnoměrnější tloušťky vrstvy pokovení po obvodu náboje. Na základě mé úvahy, že se s největší pravděpodobností jedná o problém způsobený malou vzdáleností mezi náboji a tedy jejich vzájemným stíněním ve vertikálním směru (v řadách pod sebou), jsem provedl zkoušky s upravenými závěsy, které měly pouze 3 patra (dříve 4 patra), vzájemně více vzdalené.

Výsledek byl vynikající, tloušťka vrstvy niklu po obvodu náboje se lišila maximálně 2 μm . Aby nedošlo ke snížení kapacity linky (6 nábojů na závěs místo 8), navrhl jsem kompromisní řešení, kdy jsem stávající závěsy maximálně prodloužil (dle parametrů van). Tímto se vzdálenost mezi patry prodloužila o 45 mm na 185 mm (dříve 140 mm). Dle mého návrhu se takto nejprve upravilo 6 závěsů pro náplň jedné vany a provedly se další zkoušky. Největší rozdíl tloušťky vrstvy niklu po obvodu náboje byl pouze 1,6 μm a průměrná tloušťka vrstvy na obvodu se nyní pohybuje mezi 10 – 13 μm .



Obr.56: Změna vzdálenosti mezi patry závěsu

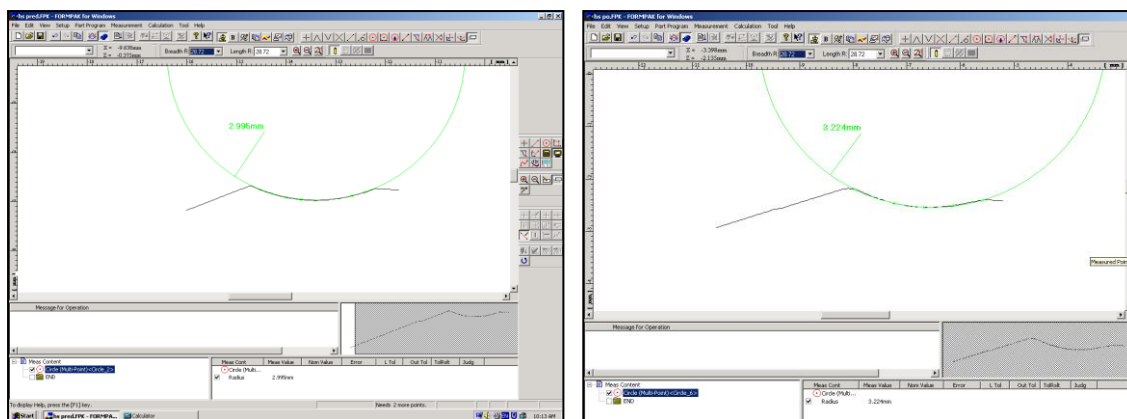
Na základě pozitivních výsledků se změnou vzdálenosti mezi patry závěsu byly následně podle mého návrhu upraveny všechny používané závěsy.

5.2 Velká tloušťka pokovení na ložiskových drahách

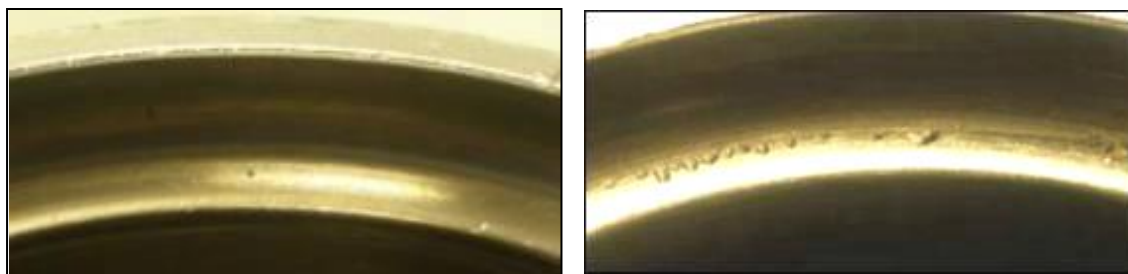
Jak již bylo zmíněno v kapitole 2 Postup výroby náboje kola, dochází během procesu pokovování k nanesení chromniklového povlaku také na vnitřní části náboje, kde se nachází ložisková dráha. Protože se jedná o jev nežádoucí, následným procesem broušení je potřeba vrstvu pokovení z ložiskové dráhy náboje kola odstranit.

Při kontrole stavu ložiskové dráhy pokovených nábojů analýzou vzorků pod mikroskopem jsem zjistil, že na ložiskové dráze je místy vyloučen povlak o tloušťce až 25 μm . Bohužel proces broušení má ale svá omezení a na základě mnoha testů byla stanovena standartní doba broušení ložiskové dráhy 10 vteřin. Při delším intervalu již dochází k poškození tvaru ložiskové dráhy (požadavek na rádius je $R\ 3,0 \pm 0,1\ \text{mm}$). Broušením o délce 10 vteřin je možno odstranit povlak do maximální tloušťky 15 μm .

Je tedy zřejmé, že mnou naměřená vrstva pokovení (25 μm) nemůže být procesem broušení odstraněna a že i po obroušení zůstane na ložiskové dráze kolem 10 μm pokovení.



Obr.57, 58: Změna rádiu ložiskové dráhy v závislosti na délce broušení



Obr.59, 60: Ložisková dráha po procesu broušení, „peeling“ na ložiskové dráze



Obr.61: Ložisková dráha před procesem leštění, tloušťka povlaku kolem 25 μm



Obr.62: Ložisková dráha po procesu leštění, povlak není bezebytku odstraněn



Obr.63: Ložisková dráha po procesu leštění, povlak je bezebytku odstraněn

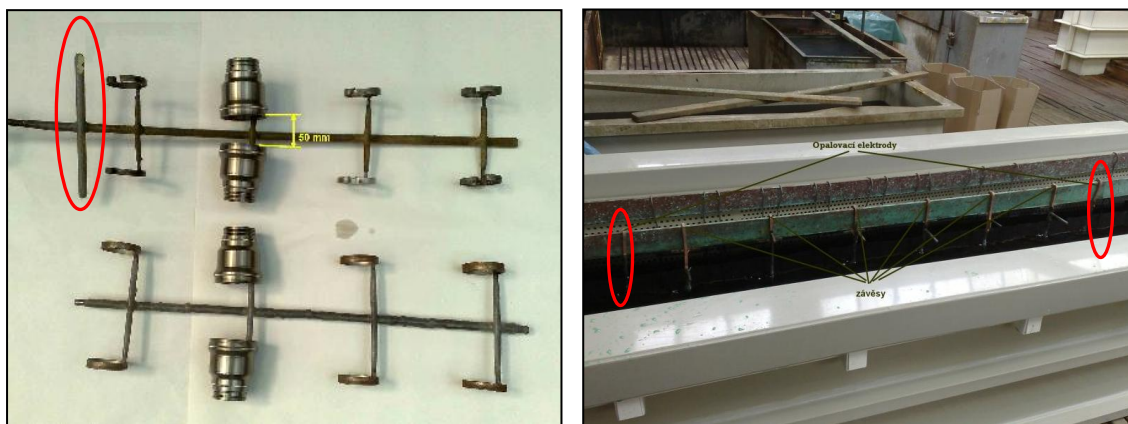
Na základě předchozích zkušeností s řešením nestabilní tloušťky pokovení po obvodu náboje kola jsem vycházel ze stejného principu, tedy z toho, že se opět jedná o vliv vzájemného stínění, v tomto případě však naopak o nedostatečné stínění nábojů.

Přeměřením nábojů kola na závěsu se mi potvrdila domněnka, že největší tloušťka vrstvy pokovení je na krajních závěsech a na hranách náboje – tedy na ložiskových drahách. Opět s odvoláním na předchozí změny technologické funkčnosti závěsů jsem se rozhodl ve vylepšování závěsů pokračovat a navrhnout závěsy, které zmíněný prostor lépe odstínují.

U závěsů jsem navrhl snížení vodorovné rozteče mezi náboji na 50 mm (dříve 85 mm) pro vzájemné zastínění hran nábojů a dále jsem nad horní řadu nábojů z důvodu jejich zastínění umístil stínící tyče.

Soustředil jsem se také na možnosti zlepšení přímo v procesu pokovování, kde jsem v niklovací lázni doporučil zmenšit vzdálenost mezi závěsy na katodové tyči na 240 mm a na oba konce katodových tyčí (cca 50 mm od krajních závěsů) jsem navrhl zavěsit opalovací elektrody, které zabraňují zvýšenému vylučování kovu na ložiskových drahách náboje.

Nejprve se takto upravilo 6 závěsů pro náplň jedné vany a provedly se zkoušky, kdy se průměrná tloušťka niklu na hraně náboje pohybovala kolem 10 μm . Na základě těchto výborných výsledků byly změny na závěsech i změny v procesu zavěšení v niklovací lázni aplikovány na celou výrobu.



Obr. 64, 65: Změna závěsů, opalovací elektrody

5.3 Nedostatečná přilnavost povlaku na hranách náboje

Pro kontrolu správné přilnavosti povlaku na hranách náboje se provádí „Knock test“, jehož princip spočívá v oťukávání hran dvou na sebe kolmo nasměrovaných nábojů. Test se neprovádí silou, ale jedná se o jemné 50x se opakující tůknutí. Po dokončení testu nesmí dojít k odlupování vrstvy pokovení.



Obr.66, 67: „Knock test“, odlupující se vrstva pokovení pod mikroskopem



Obr.68, 69: Náboj s odlupujícím se a neodlupujícím se povlakem po „Knock testu“

Po pečlivé analýze možných příčin jsem došel k závěru, že k problémům s odlupujícím se povlakem na hranách náboje došlo nedostatečným odloučením uhlíku, který je na náboji po tepelném zpracování. Ukazuje na to i skutečnost, že náboje určené k opravě jsou po odniklování a následném pokovení v pořádku a to z toho důvodu, že po odniklování následuje moření v kyselině chlorovodíkové (HCl), které intenzívně působí na povrch a uhlíkové vměstky odstraní. Toto je velmi důležité při aktivaci povrchu před vložením do pokovovací lázně.

V původním technologickém postupu jsem navrhl pouze dekapování v kyselině sírové (H₂SO₄), která sice rovněž povrch moří, ale pro součástky po tepelné úpravě není nejvhodnější, protože po překročení určité doby se povrch naopak zapouzdří. Tento jev může být také příčinou toho, že některé náboje byly po provedeném Knock testu v pořádku a některé ne.

V rámci nápravné akce jsem tedy navrhl kompletní změnu operací předúpravy. Jako první změnu jsem doporučil dodatečné moření v 12% HCl jako 1. stupeň předúprav (bylo potřeba přidat 2 nové vany – pro moření a oplach) a dále jsem navrhl nahradit dekapování v H₂SO₄ za dekapování v 5% HCl s přídavkem UNICLEAN 698.

Jako dodatečné opatření jsem dále doporučil zvýšení obsahu přísady „A“ v pololesklém niklu, kde v původním technologickém postupu bylo širší rozpětí 5 - 10 mg/l, k horní hranici (tato přísada má vliv na kujnost niklové vrstvy) a dále pak změnu času procesu u pololesklého niklu z původních 12 na 11 minut a změnu proudové hustoty z původních 4,3 na 6,1 A/dm².

Po provedených změnách v operacích předúprav se již problém s odlupujícím se pokovením na hranách náboje po Knock testu nevyskytl.

Původní technologický postup je uveden v příloze č.3.

Technologický postup po změnách operací předúprav je uveden v příloze č.4.

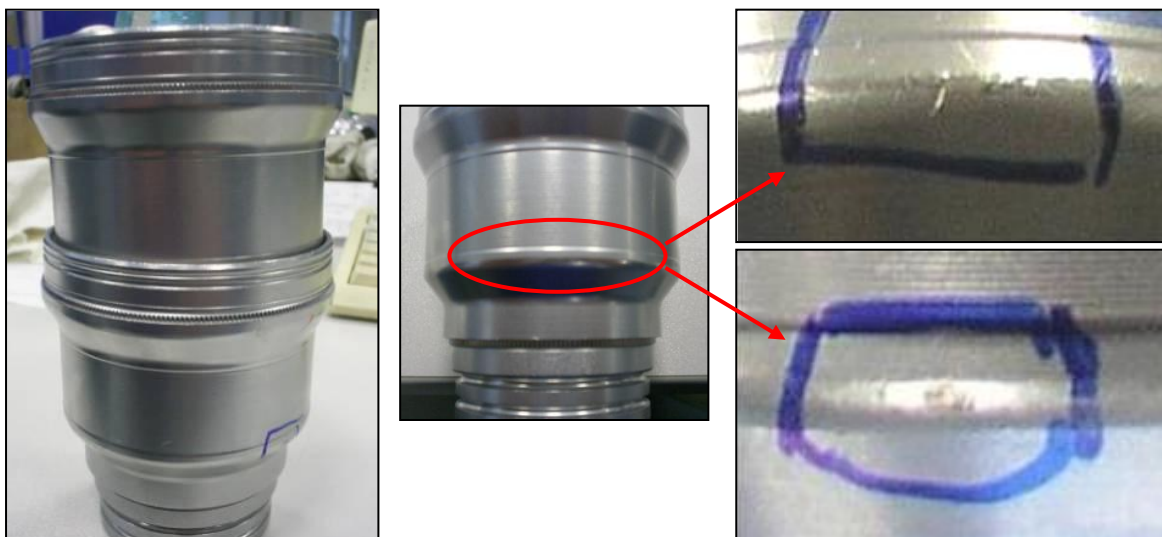
5.4 Poškození povlaku na povrchu náboje při dopravě

V současné době jsou pokovené náboje kol dováženy přímo z Japonska. Při vstupní kontrole byl několikrát nalezen problém s poškozeným a odlupujícím se pokovením na vnějším obvodu náboje kola.

Stávající způsob balení nábojů spočívá v jednoduchém vložení náboje do náboje až do vytvoření řady 11 nábojů, které jsou poté uloženy do bedny. Jedna bedna obsahuje 5 takovýchto řad, v bedně je tedy přepravováno celkem 55 kusů nábojů. Jedna paleta obsahuje 28 beden, celkem je na paletě 1.540 kusů nábojů.

Protože jsou náboje vloženy jeden do druhého bez jakékoliv ochrany, dochází zřejmě vlivem vibrací při dopravě k vzájemnému oťukávání, které je možno přirovnat k již zmíněnému „Knock testu“, a které má s největší pravděpodobností za následek poškození pokovení (vznik bublinek a odlupování) na vnějším obvodu.

Nové pracoviště povrchových úprav se bude nacházet v Ostravě-Kunčicích, je tedy vzdáleno od karvinské pobočky pouhých 30 km, ale na základě negativních zkušeností se současným způsobem balení jsem se v rámci zlepšování kvality soustředil i na tento problém.



Obr.70 - 73: Stávající balení nábojů a vzniklé problémy s poškozením pokovení

Nejdříve jsem se zabýval možností změny způsobu balení. Elektrochemicky vyloučené povlaky bývají většinou vlivem leskutvorných přísad křehké a náchylné k praskání při porušení vlivem vnitřních pnutí. Navrhl jsem proto zajištění jednotlivých nábojů kol proti nárazu pomocí plastových vložek. Tyto plastové vložky zajišťují správnou polohu náboje v náboji a zamezují jejich přímému kontaktu.



Obr.74, 75: Návrh balení nábojů s plastovou vložkou



Obr.76: Balení nábojů do bedny

Jako druhý krok nápravné akce jsem si určil za cíl nalezení a odstranění samotné příčiny vzniku poškození povlaku, tzn. vzniku bublinek a odlupování. Po prostudování možných příčin se mi nakonec jako nejpravděpodobnější jevila možnost navodíkování v průběhu procesu moření.

Při rozpouštění železa a jiných prvků obsažených v ocelích při moření vzniká při použití běžných kyselin vždy vodík. Vznikající vodík se liší od normálního plynného vodíku, při moření je „ve stavu zrodu“. Jeho atomy totiž nejsou spojeny vždy po dvou v molekuly, jak je to obvyklé v plynném vodíku, ale tvoří osamocené částice. Vodík ve stavu zrodu vyloučený na povrch kovu má snahu pronikat do kovu ještě dříve než se změní na molekuly. Je samozřejmé, že čím pomaleji probíhá na povrchu kovu slučování vodíkových atomů v molekuly, tím snáze a ve větším množství proniká vodík do jeho nitra.

Poté nastává obrácená reakce. Vodíkové atomy opouští kov a mají snahu se slučovat v molekuly. Toto slučování nastává, když difundující vodík dosáhne nějaké dutiny v kovu. Nemusí to být vždy přímo bubliny uzavřené v materiálu. Mnohem častěji jsou to různorodé cizí vměstky obsažené v kovu. Vodík, který dosáhl nějakého takového místa, se spojí v molekuly. Postupně přibývá další a další vodík. Molekuly jednou vytvořené se za běžných teplot nemohou rozložit zpět na atomy, takže vznikající plynný vodík zůstává v těchto místech uzavřen a jeho tlak přibýváním dalších molekul stoupá – vznik bublinek a puchýřů pod povlakem. [2]

Vznik puchýřů je podmíněn množstvím difundovaného vodíku, umístěním a počtem nekovových vměstků v materiálu a druhem oceli. Žádným opatřením po moření se nedá takto vzniklým vadám zabránit. Částečně je lze omezit tím, že se zvolí takový způsob moření, aby do kovu difundovalo co nejmenší množství vodíku. Snížení rychlosti rozpouštění kovu a snížení navodíkování se dosahuje přísadou inhibitorů vlivem jejich adsorbčního účinku. Adsorbce na anodických a katodických místech mořeného povrchu vyvolává změny jejich polarizace a dochází ke snížení korozního proudu.

V rámci nápravné akce jsem se tedy zaměřil na možné změny v procesu moření. Snížil jsem dobu moření na 7 minut (dříve 10 minut) a k moření v 12% HCl jsem doporučil přidat přípravek UNICLEAN 501 (15 – 20 ml/l), což je dvousložkový mořící odmašťovač, který aktivuje mořící efekt za současné inhibice základního materiálu (malá adsorbce vodíku).

5.5 Rozdílný odstín povlaků – lesklé a matné

Při vzhledové kontrole nábojů jsem našel rozdílný odstín pokovení (lesklý a matný), kdy matná varianta neodpovídá vzhledovým požadavkům pokovení náboje kola.



Obr.77: Rozdílný odstín povlaků pokovení náboje

Na základě analýzy možných příčin barevné odlišnosti jsem zjistil, že lesk pokovené vrstvy ovlivňuje saténovací přísada, které se dává cca 0,015 ml/l (0,01 – 0,02 ml/l). Dávkování se provádí při regeneraci lázně. Určitou dobu trvá, než přísada náležitě zreaguje, což má vliv na míru lesku. V tomto případě zřejmě došlo k chybě vizuální kontroly při procesu pokovování. Pokud je náboj mimo požadované vzhledové rozpětí, musí být vyřazen a musí být provedena kontrola lázně. K posouzení správného barevného odstínu pokovení jsem proto pro obsluhu linky připravil referenční vzorky.


V rámci testování a zlepšování kvality pokovení bylo samozřejmě dávkování kapalin a přísad do pokovovací linky prováděno v případě potřeby manuálně, pro plánovanou hromadnou výrobu ale doporučuji použití automatického dávkování veškerých přísad po uplynutí příslušných A/h.

5.6 Kontrola parametrů a specifikace pokovení

Na základě všech výše popsaných skutečností jsem z důvodu zajištění dodržování specifikace pokovení nábojů kol při hromadné výrobě navrhl tyto body výstupní kontroly kvality: *vizuální kontrola*, zaměřená na vzhledové vady pokovení (jednotlivý povrch beze skvrn a kazů, zabarvení povrchu v souladu s referenčním vzorkem), jedná se o namátkovou kontrolu 10 % z celkového množství nábojů a tzv. „*Part inspection*“, kdy se proměřuje a testuje 5 ks nábojů z každé dodávky (viz obr 78).

Kontrolní položky „Part inspection checksheet“:

1. vizuální kontrola (škrábance, bubliny, rez, barevný odstín)
2. Knock test (kontrola přilnavosti povlaku na hranách náboje)
3. Rotation test (dlouhodobý zátěžový test na ložiskové dráhy)
4. tloušťka chromového povlaku na vnějším obvodu náboje (couloskopická metoda)
5. tloušťka niklového povlaku na vnějším obvodu náboje (couloskopická metoda)
6. Cass test (test korozní odolnosti)
7. tloušťka povlaku na ložiskových drahách po procesu broušení (mikroskop)

SHIMANO CZECH REPUBLIC, s.r.o.										
7CC Parts inspection check sheet				Final Judgement		OK NC		PAGE 1/1		
Date:		Inspector:		Qty:		Supplier: Velobel		Check by:		
Rev	Part name	Mat	Part no	Invoice:				Rev of drawing	Issue	
7	Hub shell after plating	STK M13A	2	Part code: 35K0300000-1401					9/2/09 TomB	
	NO	Spec	Gauge Number or Equipment	1	2	3	4	5	Judge	Note
A	1	Appearance	visual							scratches, bubble
A	2	Knock test	50 times							no peeling
A	3	Rotation test	320 rpm; 5 hours							no peeling
A	4	Cr $\geq 0.1 \mu m$	Thickness M/C	Point No.1						Measurement of 2points
				Point No.2						
A	5	Ni $\geq 8.0 \mu m$	Thickness M/C	Point No.1						Measurement of 2points
				Point No.2						
A	6	Cass test	2cycles = 32hours							No rusty
A	7	$\leq 10 \mu m$	Mikroskope	Point No.1						Measurment of 4point on the ballrace
				Point No.2						
				Point No.3						
				Point No.4						

Obr.78: Výstupní kontrolní list „Part inspection check sheet“

6 Zhodnocení

V teoretické části diplomové práce jsem zhodnotil současný stav provozu fosfátovny, popsal postup výroby náboje kola a obecně přiblížil problematiku oboru povrchových úprav a zejména pak elektrochemického pokovování.

V experimentální (praktické) části jsem se zabýval problematikou použité technologie elektrochemického pokovování v Japonsku a v návaznosti na získané teoretické poznatky a praktické zkušenosti z výzkumu a ověřovacích zkoušek (viz kapitola 5 Kontrola kvality pokovení) jsem navrhl alternativní typ povlaku a kompletní technologický postup pokovování náboje kola vhodnou technologií povlakování včetně operací předúprav.

Provedl jsem koncepční nástin návrhu rozmístění pokovovací linky ve stávajících volných prostorách fosfátovny. Navrhl jsem a doporučil praktický a funkční závěsový systém včetně odstínění ploch náboje, které nemají být pokoveny.

V návaznosti na vyskytující se vzhledové vady výrobků a problémy s tloušťkou, resp. přilnavostí pokovení jsem opět částečně upravil a změnil také systém předúprav a technologií pokovení. Na základě zkušeností s problémy při současném transportu nábojů kol z Japonska jsem změnil způsob balení tak, aby se eliminovalo případné poškození povlaku během dopravy. Z důvodu zajištění dodržování specifikace pokovení nábojů kol při hromadné výrobě jsem vytvořil referenční vzorky na kontrolu správného odstínu pokovení, navrhl jsem základní body výstupní kontroly kvality a vytvořil kontrolní list.

Věřím, že tato diplomová práce bude přínosem pro vedení firmy Shimano, protože v souhrnu komplexně popisuje přípravu, realizaci a řešení problémů projektu využití stávajícího volného místa v provozu fosfátovny o nové kvalitní technologie určené pro povlakování náboje kola.

Poděkování

Děkuji doc. Ing. F. Kristoforymu, CSc. z katedry mechanické technologie VŠB-TU Ostrava za podněty k řešení práce, Ing. L. Vronské z firmy Velobel, spol. s r. o. Zlaté hory za spolupráci při návrhu technologického postupu a Ing Z. Kužmovi z firmy Velobel, spol. s r.o. Zlaté hory za přínosné rady a zkušenosti při řešení problémů.

Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, M.: Technologie povrchových úprav kovů. Skripta VŠB-TU, Ostrava, 2000, 156s.
- [2] RUMML, V., Soukup, M.: Galvanické pokovování. 1. vyd. SNTL, Praha, 1981, 324 s.
- [3] KRISTOFORY, F., PŘIKRYL, Z., SZELAG, P., VÍTEK, J.: Elektrochemické povlakování. 3. díl. Skripta VŠB-TU, Ostrava, 2005, 110s.
- [4] SZELAG, P., TAITLOVÁ, J., ŠULC, J., KRISTOFORY, F.: Kurz galvanizérů 2. Skripta VŠB-TU, Ostrava, 2000, 52s.
- [5] PODJUKLOVÁ, J.: Speciální technologie povrchových úprav I. Skripta VŠB-TU, Ostrava, 1997, 76s.
- [6] BARTL, D. O., MUDROCH, O.: Technologie chemických a elektrochemických povrchových úprav. 1. díl. 1. vyd. SNTL, Praha, 1956, 448s.
- [7] HEILING, H. M.: das Korrosionsverhalten von dekorativen Kupfer-Nickel-Chrom-Schichten auf Stahl. Metall, 14, 1960, 549 s.
- [8] STRAUCH, A.: Galvanotechnisches Fachwissen. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1987, 511 s.
- [9] PRŮŠEK, J. a kol.: Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochranných povrchových úprav. 1. vyd. SNTL, Praha, 1985, 288 s.
- [10] FISCHER, O.: Fyzikální chemie. SPN Praha, 1983, s. 206.

- [11] MANDICH, N. V.: pH, Hydrogen Evolution & Their Significance In Electroplating Operations. Plating and Sur. Fin. 89, 2002, 1, p. 54.
- [12] KREYE, H.; LANG, K.: Elektrolytisch abgeschiedene Nickelschichten: Einfluß des Schwefelgehaltes auf Härte und Duktilität. Metalloberfl. 51, 1997, S. 63.
- [13] DETTNER, H. W.; ELZE, J.: Handbuch der Galvanotechnik, Band I, Teil I. Carl Hanser Verlag, München 1963, S. 27.
- [14] JACOBSON, B. E.; SLIWA, J. W.: Structure and Mechanical Properties Of Electrodeposited Nickel. Plating and Sur.Fin., 66, 1979, 9, p. 42.
- [15] DVOŘÁK, J., KORYTA, J., BOHÁČKOVÁ, V.: Elektrochemie. Akademie Praha, 1975, 412 s.
- [16] STRAUCH, A: Galvanotechnisches *Fachwissen*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1987, 511s.
- [17] internetové stránky firmy Dehor-Elspec Litvínov s. r.o.: <http://www.dehor.cz/>

Seznam příloh

Příloha č.1 – Technologický postup fosfátování před tvářením za studena

Příloha č.2 – Technologický postup fosfátování jako ochrana proti korozi

Příloha č.3 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom

Příloha č.4 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom po změně procesu

Příloha č.5 – Provoz fosfátovny a prostory pro novou technologii

Příloha č.6 – Uspořádání pokovovací linky Nikl-nikl-chrom

Příloha č.1 – Technologický postup fosfátování před tvářením za studena

- přílohy jsou zvlášť v excelu

Příloha č.2 – Technologický postup fosfátování jako ochrana proti korozi

Příloha č.3 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom

Příloha č.4 – Technologický postup pro Nikl-nikl-chrom po změně

Příloha č.5 – Provoz fosfátovny a prostory pro novou technologii

Příloha č.6 – Uspořádání pokovovací linky Nikl-nikl-chrom